

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**LYHYEN KANTAMAN ILMATORJUNTAJÄRJESTELMISSÄ KÄYTETTÄVÄT
TEKNOLOGIAT 2030-LUVULLA**

Tutkielma

Kapteeni
Antti Metsänvirta

EUK 65
Ilmasotalinja

Huhtikuu 2013

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Esiupseerikurssi 65	Linja Ilmasotalinja
Tekijä Kapteeni Antti Metsänvirta	
Tutkielman nimi LYHYEN KANTAMAN ILMATORJUNTAJÄRJESTELMISSÄ KÄYTETTÄVÄT TEKNOLOGIAT 2030-LUVULLA	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka MPKK:n kurssikirjasto
Aika Huhtikuu 2013	Tekstisivuja 26 Liitesivuja 2
TIIVISTELMÄ <p>Ilmatorjuntajärjestelmien kehitystä on ohjannut kaksi suuntausta. Ensimmäinen on tarve vastata ilma-aseen kehitykseen. Toinen mahdollisuus järjestelmien kehittämiseksi on teknisen kehityksen antamat mahdollisuudet valmistaa yhä tehokkaampia järjestelmiä torjumaan ilmasta suuntautuvaa uhkaa. Ilma-aseen osalta on jo nähtävissä 2030-luvun kohteille muodostuva uhka. Sen sijaan teknologian kehitys tulee mahdollistamaan lähivuosikymmeninä uusien teknologioiden esiinmarssin lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmiin. Tutkimus lähtee siitä, että teknologian kehittyminen mahdollistaa teknisesti kehittyneempien järjestelmien kehittämisen. Tutkimuksella vastataan siihen, mitä teknologioita on käytettävissä lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmissä 2030-luvulla. Lisäksi tutkimus tarkastelee nykyisten teknologioiden asemaa 2030-luvun järjestelmissä sekä niiden käyttöympäristöä.</p> <p>Tutkimus on tekniikan työlle tyypillinen kvalitatiivinen, kartoittava kirjallisuustutkimus. Menetelmän avulla etsitään uusia teknologioita sekä selvitetään vähän tunnettuja ilmiöitä. Asiakirjatutkimuksen keskeisimpinä lähteinä on käytetty Puolustusvoimien virallisia tulevaisuuskartoituksia sekä internet-tietokantoja, joista keskeisimpinä on ollut Jane's. Aineistoa on täydennetty asiantuntijahaastattelulla.</p> <p>Tutkimuksen keskeisenä johtopäätöksenä on se, että ohjusteknologia tulee säilyttämään asemansa 2030-luvun lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmissä. Uusista teknologioista laser tulee mahdollistamaan uusien järjestelmien kehittämisen.</p>	
AVAINSANAT <p>ilmatorjunta, asejärjestelmä, lyhyen kantaman ilmatorjunta, taktinen suurteholaser, hybridi-ilmatorjuntajärjestelmä</p>	

LYHYEN KANTAMAN ILMATORJUNTAJÄRJESTELMISSÄ KÄYTETTÄVÄT TEKNOLOGIAT 2030-LUVULLA

1.	JOHDANTO	1
1.1.	Tutkimuksen tausta, päämäärä ja rajaukset	2
1.2.	Tutkimuksen rakenne	3
1.3.	Tutkimusongelma ja -kysymykset sekä keskeisimmät käsitteet	3
1.4.	Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen kulku	5
1.5.	Lähdeaineiston esittely ja analyysi	6
2.	NYKYISIN KÄYTÖSSÄ OLEVIA TEKNOLOGIOIDEN KEHITYSNÄKYMÄT	8
2.1.	Lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmillä suojattavat kohteet	8
2.2.	Ohjusjärjestelmät	9
2.2.1.	Yleistä ohjusjärjestelmien kehityksestä	9
2.2.2.	Ohjattavat ohjusjärjestelmät	11
2.2.3.	Hakeutuvat ohjusjärjestelmät	11
2.2.4.	SOSNA-R	12
2.3.	Hybridijärjestelmät	13
2.3.1.	Hybridijärjestelmien kehityksestä	13
2.3.2.	RAPIDFire ilmatorjuntajärjestelmä	14
3.	UUDET TEKNOLOGIAT 2030-LUVUN LYHYEN KANTAMAN ILMATORJUNTAJÄRJESTELMISSÄ	17
3.1.	Kehitystrendit	17
3.2.	Laserteknologia	18
3.3.	Esimerkkejä lasertekniikka hyödyntävistä järjestelmistä	20
4.	JOHTOPÄÄTÖKSET	23
5.	YHDISTELMÄ.....	26
	LÄHTEET	27
	LIITTEET	33

LYHYEN KANTAMAN ILMATORJUNTAJÄRJESTELMISSÄ KÄYTETTÄVÄT TEKNOLOGIAT 2030-LUVULLA

1. JOHDANTO

Ilmasodankäynnin merkitys viimeaikaisissa aseellisissa konflikteissa on noussut erittäin merkittäväksi. Samaan aikaan ilmasotaan osallistuvat toimijat, ilma-ase ja ilmatorjunta, ovat olleet jatkuvan teknisen kehityksen kohteena. Ilma-ase on ottanut vanhojen kalustojen rinnalle käyttöön uusia konekalustoja, hävittäjissä ollaan siirtymässä viidennen sukupolven konekaluston käyttöön.

Ilmatorjunta on pyrkinyt vastaamaan ilma-aseen aiheuttamaan uhkaan kehittämällä jo olemassa olevista järjestelmistä uusia versioita tai kokonaan uusia järjestelmiä. Tulevaisuuden ilmatorjunnassa järjestelmät tulevat entisestään profiloitumaan joko lavetteja tai heitteitä ja helikoptereita vastaan taisteleviksi järjestelmiksi. Tähän suuntaukseen on johtanut kaksi linjausta, ilmatorjuntajärjestelmissä käytettävien tekniikoiden ja teknologioiden kehittyminen sekä ilma-aseen kehittyminen.

Tulevaisuudessa puolustusvoimien materiaalin on oltava kansainvälisesti yhteensopivaa muiden Euroopan maiden kanssa. Puolustusmateriaalin on sovelluttava Puolustusvoimien kaikkien kolmen tehtävien suorittamiseen, joista yhdeksi keskeiseksi tekijäksi nousee järjestelmien käytettävyyys kansainvälisessä kriisinhallinnassa. Tulevaisuuden suorituskykyjä on kyettävä käyttämään teknisesti ja taktisesti vaativissa ympäristöissä.[43] Lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien teknologisessa kehityksessä ja vaatimusten asettelussa nämä tehtävät tulee huomioida. Tällä hetkellä lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien kehittämisessä pyritään hyödyntämään nykyisiä, jo olemassa olevia järjestelmiä ostajien halutessa valmiita tuotteita. Tämä on johtanut järjestelmien kehittämiseen ja päivittämiseen vastaamaan uusia uhkia. Keskeiseksi on noussut C-RAM kyky (Counter-Rocket Artillery Mortar).[15;44]

Suomessa tullaan käyttämään nykyisiä lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmiä tästä päivästä aina 2030-luvulle asti. Sen sijaan nykyisten järjestelmien seuraajien käyttämät teknologiat ovat vasta suunnitteluasteella tai astumassa palveluskäyttöön. Tässä valossa tutkimus toimii ajankohtaisena kartoittavana tutkimuksena siihen, millaisia järjestelmiä voisi olla 2030-

luvulla käytettävissä. Tutkimuksella haetaan yleisesti lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmissä käytettäviä tekniikoita eikä sitä sidota mihinkään tiettyyn hankkeeseen.

1.1. Tutkimuksen tausta, päämäärä ja rajaukset

Tutkimuksen aihealueesta ei ole laadittu Maanpuolustuskorkeakoululla aikaisempaa tutkimusta, joka ulottuisi 2030-luvulle asti. Lyhyemmän aikavälin tutkimuksia on laadittu. Kapteeni Ari Keski-Rauska on tutkinut vuonna 2009 valmistuneessa esiupseerikurssin tutkielmassa lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmiä lähitulevaisuudessa. Hänen työnsä tarkastelujakso päättyy vuoteen 2015. Keski-Rauskan tutkimuksesta on hyötyä nykytilan määrittämisessä sekä alkuperäislähteiden kartoittamisessa.[31]

Insinöörieversti Jyri Kosola on tutkinut tulevaisuuden teknologista kehitystä vuonna 2010 valmistuneessa Maanpuolustuskorkeakoulun Sotatekniikan laitoksen julkaisussa. Kosolan tutkimus ulottuu vuoteen 2025 asti. Teosta on käytetty tämän tutkimuksen teknologisen kehityksen perusteiden määrittämisessä.[36]

Tutkimuksen perusteiden määrittämisessä on lisäksi käytetty kahta sotatieteiden kandidaattitutkielmaa. Töihin ei ole viitattu muilta osin. Kadetti Niko Haka on tutkinut vuonna 2010 valmistuneessa sotatieteiden kandidaattitutkielmassaan alussijoitteisia ilmatorjuntajärjestelmiä nyt ja tulevaisuudessa. Tutkimuksessa on valittu viisi erilaista ohjusjärjestelmää, joita tarkastellaan nyt ja tulevaisuudessa.[16] Kadettialikersantti Karri Wihersaari on vuonna 2009 valmistuneessa sotatieteiden kandidaattitutkielmassaan tutkinut häivetekniikkaa tulevaisuuden ilmasodankäynnissä.[51]

Tutkielma on rajattu käsittelemään suomalaisen määritelmän mukaisia lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmiä. Tutkimuksessa keskitytään tutkimaan eri asejärjestelmiä ja niissä käytettäviä tekniikoita. Tutkimuksessa ei käsitellä ilmatorjuntajärjestelmien johtamisjärjestelmiä. Suomalaisen määritelmän mukaisesti lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jonka maksimi kantama etäisyydessä on yli viisi kilometriä mutta alle 10 kilometriä. Korkeusulottuvuuden kantama on yli kolme kilometriä mutta alle viisi kilometriä.[19, s.19] Kansainvälisen määritelmän mukaisesti lyhyen kantaman (SHORAD) ilmatorjuntajärjestelmien kantama ulottuu 15 kilometriin ja pystysuunnassa 7 kilometriin [41].

Tutkimuksen toisessa luvussa tutkitaan lyhyen kantaman ilmatorjuntaohjus- ja hybridijärjestelmien nykytilaa ja kehitysnäkymiä. Tykkijärjestelmien kehitystä tarkastellaan osana hybridi-

järjestelmiä. Kolmannessa luvussa keskitytään laserteknologian hyödyntämiseen lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmissä.

Tutkimus perustuu lähtökohtaan, jossa tekniikan kehitys itsessään johtaa ilmatorjuntajärjestelmissä käytettävien tekniikoiden kehittymiseen. Tällä perusteella tutkimus ei pohdi ja tutki ilmauhkan ja ilma-aseen kehityksen aiheuttamaa muutosta lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien teknologiseen kehitykseen. Edelleen tutkimuksen näkökulma on tekninen tarkastelu. Tutkimuksessa ei tarkastella ilma-aseen tai ilmatorjuntajärjestelmien taktista käyttöä.

1.2. Tutkimuksen rakenne

Tutkielma koostuu johdannosta, kahdesta pääluvusta, johtopäätösluvusta sekä yhdistelmästä. Johdannossa esitellään tutkimuksen lähtökohtatilanne ja tausta. Lisäksi johdannossa kuvataan tutkimuksen rakenne. Tutkimuksen rajaukset on perusteltu ensimmäisessä alaluvussa. Lähdeaineiston esittelyssä keskitytään esittelemään tutkimuksen keskeiset lähteet ja tärkeimpänä asiana esitetään lähdeanalyysi lähteiden luotettavuudessa. Johdannon viimeisenä alalukuna on kuvattu tutkimuksen kulku.

Tutkimuksen toisessa luvussa pyritään vastaamaan ensimmäiseen alakysymykseen. Luvun tarkoituksena on kartoittaa lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien nykyään käytössä olevia tekniikoita sekä pyrkiä löytämään mahdollisia megatrendejä, jotka tulisivat säilymään tulevaisuuden järjestelmissä. Luvussa esitellään ohjus- ja hybridijärjestelmiä, jotka ovat tällä hetkellä uusia ja kuvaavat siten teknologian nykytilaa.

Kolmannessa luvussa keskitytään kartoittamaan tulevaisuuden teknologioita sekä kehitystrendejä. Tämä tapahtuu analysoimalla ja luokittelemalla lähdemateriaalia. Luvussa kuvataan ja esitellään laserteknologiaa yhtenä vahvistuvana trendinä. Samalla esitellään kolme ilmatorjuntajärjestelmää, joissa hyödynnetään laserteknologiaa.

Tutkimuksen johtopäätökset on koottu omaksi luvukseen, jossa vastataan tutkimusongelmiin. Yhdistelmä sisältää tutkimuksen luotettavuuden arvioinnin sekä esitykset jatkotutkimukselle.

1.3. Tutkimusongelma ja -kysymykset sekä keskeisimmät käsitteet

Tutkielman tarkoituksena on olla tulevaisuuden lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmiä ja niissä mahdollisesti käytettävien teknologioiden kartoittava tutkimus. Tutkimuksessa tarkas-

tellaan nykyisin käytössä olevien tekniikoiden ja teknologioiden mahdollinen säilyminen 2030-luvun ilmatorjuntajärjestelmissä. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään, onko tulevien vuosien aikana tulossa käyttöön uusia, vielä vähän käytettyjä teknologioita, esimerkkinä voisi olla taktinen suurteholaser. Tutkimus lähtee olettamuksesta, että tekniikan kehittyminen itsessään johtaa ilmatorjuntajärjestelmien kehittymiseen.

Tutkimuksen pääkysymyksenä on: **Mitä teknologioita on käytettävissä lyhyen kantaman ilmatorjunta-asejärjestelmissä 2030-luvulla?**

Tutkimuksen alakysymyksiä ovat seuraavat:

- Millainen on lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien käyttöympäristö tulevaisuudessa?
- Miten ohjus- ja hybridi-ilmatorjuntajärjestelmät kehittyvät nyt ja 2030-luvulle asti?
- Mitkä nykyiset teknologiat säilyttävät asemansa 2030-luvun ilmatorjunta-asejärjestelmissä?
- Mitä uusia teknologioita olisi käytettävissä 2030-luvun lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmiin?

Alakysymykset tukevat pääkysymyksen käsittelyä. Tutkimuksen ensimmäiseen ja toiseen alakysymykseen vastataan toisessa luvussa. Kolmannen ja neljännen alakysymyksen käsittely tapahtuu raportin kolmannessa luvussa. Pääkysymykseen vastataan tutkimuksen johtopäätöksissä.

Tutkimuksen keskeisimpiä käsitteitä ovat **ilmatorjunnan asejärjestelmä, hybridi-ilmatorjuntajärjestelmä, lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmä, taktinen suurteholaser.**

Ilmatorjunnan asejärjestelmä jaetaan ohjusilmatorjuntajärjestelmiin, ammusilmatorjuntajärjestelmiin sekä suojajärjestelmiin. Asejärjestelmät voidaan jakaa ulottuvuuden perusteella neljään ryhmään.[19, s.19]

Hybridi-ilmatorjuntajärjestelmällä tarkoitetaan ilmatorjuntajärjestelmää, jossa samaan lavettiin on liitetty sekä ohjus- että tykkijärjestelmä. Samalla lavetilla voi olla lisäksi valvontatutka, tulenjohtotutka sekä elektro-optisia sensoreita. Osalla hybridi-ilmatorjuntajärjestelmistä voidaan suorittaa ammunta liikkeestä tai paikaltaan. Eräät järjestelmät kykenevät suorittamaan tulitoimintaa samanaikaisesti sekä ohjusjärjestelmällä että tykkijärjestelmällä.[31]

Lyhyen kantaman ilmatorjunnan (englanniksi Short Range Air Defence, SHORAD) kantama ulottuu korkeussuunnassa kolmesta kilometristä viiteen kilometriin sekä etäisyydessä viidestä kilometristä kymmeneen kilometriin.[19, s.19]

Tarkastelujakso tässä tutkimuksessa tarkoittaa vuosia 2012-2030.

Taktinen suurteholaser on sotilaskäyttöön suunniteltu, laserteknologiaa hyödyntävä ase.

1.4. Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen kulku

Tämä tutkimus on kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus, jonka tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuustutkimusta. Tutkimusten tarkoituksina voidaan nähdä olevan neljä seikkaa, kartoittava, kuvaileva, selittävä tai ennustava. Tämä tutkimus on kartoittava tutkimus, joka pyrkii etsimään uusia teknologioita sekä selvittämään vähän tunnettuja ilmiöitä. [17, s. 126-129] Tekniikan kirjallisuustutkimukset perustuvat siihen, että tietoa etsitään, analysoidaan ja käytetään tutkimuksen pohjana. Tekniikan kirjallisuustutkimukset ovat joko kirjallisuusselvityksiä tai survey-tutkimuksia. Tämä tutkimus on tehty kirjallisuusselvitykselle tyypillisesti käyttäen laajasti ajantasaisia kirjallisia lähteitä, joita on referoitu tutkimusraportissa niitä kuitenkaan kopioimatta.[37, s.42]

Kirjallisuustutkimuksen pohjan muodostavat systemaattisesti kartoitetut kirjalliset asiakirjat ja dokumentit. Tutkimusmenetelmän luonteen mukaisesti tässä tutkimuksessa on pyritty tarkan metatiedon hankkimiseen. Metatieto on tietoa tiedosta. Tämä tarkoittaa sitä, että lähteiden kartoittamisen yhteydessä on pyritty selvittämään tiedon tuottaja sekä missä ja miten tietoa säilytetään. Menetelmä johtaa samalla perusteltuun lähdekritiikkiin.[37, s.43]

Työn toisen luvun perusteet on kuvattu käyttämällä lähteinä aiheesta laadittua kirjallisuutta. Suojattavia kohteita on esitetty sekä kotimaisesta että kansainvälisestä näkökulmasta laajemman näkökulman saamiseksi. Luvussa esitellään uusi ohjusjärjestelmä sekä hybridijärjestelmä esimerkkinä teknisestä kehityksestä.

Kolmannessa luvussa kartoitetaan tulevaisuuden näkymiä lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien teknisessä kehityksessä. Luku jakautuu kahteen osaan, joista ensimmäiseksi tarkastellaan tulevien vuosien kehitystrendejä. Jälkimmäisessä osassa tarkastellaan laserteknologian kehitysnäkymiä, koska se voidaan nähdä voimistuvana teknologiana 2030-luvulle mentäessä. Kehitystrendien määrittäminen on tehty käymällä läpi vuosien 2011 ja 2012 Jane's Defence

Weekly ja Jane's Land Based Air Defence -julkaisut. Näitä analysoimalla on tehty johtopäätökset voimistuvista trendeistä. Analyysiä täydennetään haastattelulla.

1.5. Lähdeaineiston esittely ja analyysi

Tutkimus perustuu kirjallisuustutkimukseen ja kirjallisiin lähteisiin. Tutkimuksen keskeisimmät kirjalliset lähteet ovat Puolustusvoimien sotatekninen arvio ja ennuste 1 ja 2 -kirjat, joiden tarkastelujakso ulottuu vuoteen 2025. Muita teknologiaa kuvaavia kirjoja ovat Digitaalinen taistelukenttä, Teknisen kehityksen suuntalinjat (käännetty FMV:n alkuperäistekstistä Tekniska Utvecklingstrender). Kirjalliset lähteet täydentyvät Maanpuolustuskorkeakoulun Sotateknikan laitoksen laatimilla raporteilla ja julkaisuilla. Kirjallisuuslähteiden tarkoituksena on toimia perustana tekniikan nykytilalle ja tulevien vuosien kehitystrendien kartoittamisessa.

Tutkimuksen teoreettiset perusteet perustuvat Maanpuolustuskorkeakoulun Sotateknikan laitoksen laatimaan kirjallisuuteen teknisen tutkimuksen laatimisesta. Tutkimuksen yleiset perusteet on kuvattu Tutki ja kirjoita -kirjassa.

Tutkimus on tehty käyttäen hyväksi julkisia lähteitä. Tutkimuksen keskeisimmät lähteet ovat teknologian tulevasta kehityksestä kertovat tutkimukset ja julkaisut. Toisen lähderyhmän muodostavat internetin tietokannat, joista tärkeimpänä on ollut Jane's:n tietokanta. Kolmannen lähderyhmän muodostavat asevalmistajien internet-sivut sekä edellä mainittujen eri puolustusvälinemessuilla jakamat esitteet. Messuilta jaettuja materiaaleja täydennetään messuille osallistuneiden matkakertomuksilla.

Haastattelulla on täydennetty muista lähteistä saatuja tietoja sekä pyritty varmistamaan muiden lähteiden tietoja. Tutkimukseen liittyen on haastateltu Hans Christian Hagenia, joka työskentelee Kongsberg Defence & Aerospacella. Hänen haastattelunsa täydentää tulevaisuuden trendien määrittämistä.

Matkakertomuksilla ja puolustusmateriaalin valmistajien esitteillä pyritään selvittämään teknologian nykytilaa ja tulevaisuutta valmistajien esittämien tietojen perusteella. Näihin lähteisiin tulee liittää lähdekritiikki lähteen luotettavuudesta.

Tutkimuksessa on käytetty lähteinä Puolustusvoimien julkaisemia kirjoja sekä muita yleisesti tunnustettuja painettuja kirjoja tutkimuksen perusteiden määrittämisessä ja tutkimuksessa. Tulevaisuuden trendejä on kartoitettu Jane's tietokannan perusteella ja saatuja tietoja on täydennetty haastattelulla. Molempia voidaan pitää tutkimuksen tuloksiin nähden varsin luotetta-

vina lähteinä. Tutkimuksessa on edellä mainittujen lähteiden lisäksi käytetty internet-lähteitä. Näin saadut tiedot on varmistettu käyttäen useampia lähteitä.

Tutkimuksessa käytettyjä virallisia tutkimusraportteja sekä kirjoja voidaan pitää yleisesti luotettavina lähteinä. Tutkimuksessa on käytetty paljon internet-lähteitä. Näistä saatu tieto on pyritty varmentamaan useammasta lähteestä. Internet-lähteiden osalta on huomioitava se, että lähteiden takana on ollut sama lähde, esimerkiksi valmistajan kotisivu tai sen laatima raportti. Suoritettua haastattelua voidaan pitää luotettavana ja haastattelun tulokset ovat olleet muita lähteitä tukevia. Tutkielmien käyttämistä lähteinä on vältetty ja työssä on pyritty käyttämään alkuperäislähteitä aina sen ollessa mahdollista.

2. NYKYISIN KÄYTÖSSÄ OLEVIEN TEKNOLOGIOIDEN KEHITYSNÄKYMÄT

Ilmatorjuntajärjestelmien käyttäminen Suomessa ja maailmalla perustuu eri järjestelmien porastettuun käyttöön, missä erilaisilla järjestelmillä vastataan erilaisiin maalitilanteisiin. Lyhyen ja erittäin lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmiä käytetään sisimmäisen kehän suojaamiseen[41]. Suomalaisessa opissa ilmatorjuntajärjestelmiä ryhmitetään joko kohde- tai alueryhmytykseen. Kohderyhmytyksessä ilmatorjunta ryhmitetään kohteeseen ja sitä voidaan käyttää yksittäisen kohteen tai kohderyhmän suojaamiseen. Torjunnan edellytyksenä on se, että hyökkääjä kyetään torjumaan ennen aseiden laukaisua suojattavaa kohdetta vastaan.

Täsmäaseiden kehittäminen ja kaukovaikuttaminen etenkin ilmasta maahan nähdään useissa valtioissa kehittyvänä trendinä. Tämän on mahdollistanut ohjusten propulsio ja ohjautustekniikoiden kehittyminen viime vuosina kasvattaen ilmasta maahan -laukaistavien aseiden laukaisuetäisyyttä. Edellä mainittu kaukovaikutus vähentää siten itse lavetin torjuntaan tarkoitettujen järjestelmien merkitystä tulevaisuudessa.[36]

Ilmatorjuntajärjestelmien elinkaaren iäksi voidaan yleistää noin 20-30 vuotta. Esimerkiksi venäläinen Tunguska-ilmatorjuntajärjestelmä on otettu palveluskäyttöön vuonna 1982 ja on nyt korvautumassa uusilla järjestelmillä Venäjällä [47]. Tämä tarkoittaa sitä, että nyt palveluskäyttöön otettu ilmatorjuntajärjestelmä on lähestymässä oman elinkaarensa päätettä tutkimuksen tarkastelujakson loppupuolella.

Uusien ilmatorjuntajärjestelmien ja etenkin teknologioiden osalta on nähtävissä se, että vuoteen 2025 mennessä ei olla tekemässä läpimurtoja täysin uusien teknologioiden osalta. Sama tulee koskemaan myös ilmakomponenttia.[36] Lähivuosina tulee jatkumaan ja voimistumaan jo koko 2000-luvun jatkunut tekninen kehitystrendi, jonka aikana lennokkien (UAV) ja risteilyohjusten torjuntakyky tulee merkittävästi korostumaan.[42]

2.1. Lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmillä suojattavat kohteet

Lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmät muodostavat yhdessä erittäin lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien ilmapuolustuksen sisäkehän. Suomalaisten käyttöperiaatteiden mukaisesti lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmiä käytetään kiinteiden, valtakunnallisesti tärkeiden kohteiden suojaamiseen. Tärkeillä kohteilla tarkoitetaan esimerkiksi ilma- ja meripuolustuksen tukikohtia sekä pääkaupunkiseudun kohteet. Toinen selkeästi suojattava kohde on tärkeimpien operatiivisten taistelujoukkojen suojaaminen.[19]

Suomalaisen kohteiden määrittelyn rinnalla voidaan käyttää kansainvälistä vyöhykkeisiin perustuvaa tarkastelua, missä taistelutila voidaan jakaa kolmeen vyöhykkeeseen. Vyöhykkeellä 1 tarkoitetaan aluetta, missä taisteluihin osallistuvat joukot operoivat. Tällä vyöhykkeellä käytetään yleisesti lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmiä, jotka suojaavat liikkuvia taistelujoukkoja sekä muita taktisesti tärkeitä kohteita. Vyöhykkeen kohteille on tyypillistä niiden hyvä liikkuvuus. Tulevaisuuden uhkan suojattaville kohteille muodostavat rynnäkköohjukset (TASM), taisteluhelikopterit, taistelu/tiedustelulennokit, risteilyohjukset sekä kiinteäsiipiset hävittäjät. Uhkan kehittymisessä keskeistä on kyky vaikuttaa projektiiliin lavetin asemasta.[18]

Taistelujen tukialue muodostaa vyöhykkeen 2. Suomalaisessa taistelutavassa tällä alueella sijaitsevat esimerkiksi ilmavoimien tukikohdat. Kohteille on tyypillistä se, että ne ovat kiinteitä ja tiedusteltavissa jo rauhan aikana kaikilla sähkömagneettisen spektrin alueilla. Vyöhykkeellä 2 sijaitsevien kohteiden ilmauhka tulee kehittymään samaan suuntaan vyöhykkeen 1 kohteiden kanssa, aselavettien uhka pienenee ja vastaavasti risteily- ja rynnäkköohjusten sekä erilaisten lennokkien uhka kasvaa.[18]

Lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien tekninen kehittäminen kohti parempaa projektiili-torjuntakykyä tulee lisäämään niiden käyttöä kansainvälisessä kriisinhallinnassa. Tarkastelujakson aikana lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien käyttäminen tulee kasvamaan. Kriisinhallintatehtävissä tärkeimpiä suojattavia kohteita ovat joukkojen perustamat kiinteät tukikohdat, joissa ilmatorjunnan tärkein tehtävä torjua tukikohtaa vastaan ammuttuja projekteileja. [41]

Tutkimuksen tarkastelujaksolla suojattavien kohteiden osalta keskeiseen asemaan tulee noustamaan yksittäisen kohteen merkitys operaation toteutukselle. Joukkojen vähentäminen tulee johtamaan kehitykseen, missä tappioiden sietokyky vähenee entisestään.[46, s.243]

2.2. Ohjusjärjestelmät

2.2.1. Yleistä ohjusjärjestelmien kehityksestä

Lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien kehitykselle on ollut viime vuosina keskeistä kyky toimia yhä pienempiä maaleja vastaan. Tähän on johtanut ilmasta maahan laukaistavien aseiden kantaman kasvaminen niin suureksi, että lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmillä ei kaikissa maalitilanteissa kyetä torjumaan itse lavettia. Edellä mainittu vaatimus tulee korostumaan entisestään vuoteen 2030 mennessä, koska nykyaikaisten ilma-alusten häiveominai-

suudet sekä omasuojajärjestelmät kehittyvät tarkastelujakson aikana. Edelleen ilmatorjuntajärjestelmien tulee kyetä havaitsemaan ja torjumaan yhä pienemmän tutkapoikkipinta-alan omaavia maaleja, kuten risteilyohjuksia ja muita projektiileja.[30; 46] Ohjusten tulee jatkossa kyetä torjumaan erilaisia maaleja perinteisistä ilma-aluksista nopeisiin ja hyvin liikehtiviin heitteisiin.[42]

Viimeaikaisten sotien kokemusten perusteella maalin tunnistamisen tarve on korostunut ja tulee tarkastelujaksolla vuoteen 2030 mennessä vielä korostumaan, koska konfliktien osapuolina ovat olleet liittoumat sekä sitä vastustavat joukot. Tämä on ollut asetelma Persianlahden lahden toisessa sodassa sekä myöhemmin Afganistanissa ja Libyassa. Georgian ja Venäjän konfliktissa Venäjän joukoilla oli tarve tunnistaa omat koneet ja täten estää omien koneiden ampuminen omalla ilmatorjunnalla. Edellä mainittujen kriisien perusteella omien koneiden ampumista estäviä tekniikoita ei ole vielä täysin kyetty ratkaisemaan.[46]

Länsimaissa ja Venäjällä ollaan luopumassa ja vähentämässä olalta laukaistavien ohjusjärjestelmien käyttöä, koska maalin tunnistamiseen tarvittavat omatunnuslaitteet (IFF) edellyttävät ohjusjärjestelmän liittämistä sensorijärjestelmään. Tämä tarkoittaa sitä, että perinteiset olalta laukaustavat järjestelmät eivät ole enää ampumalaitetta käyttävän ryhmän siirrettävissä.[46] Kyseisiä ohjuksia käytetään kuitenkin edelleen liitettynä erilaisiin ilmatorjuntajärjestelmiin. Esimerkiksi Hollannin ja Turkin käytössä on PMADS-ilmatorjuntaohjusjärjestelmä, jonka ohjuksena käytetään Igla-S-ilmatorjuntaohjusta. Ohjuksen siirtäminen olkapäältä kevyeen ajoneuvon mahdollistaa myös muiden sensoritietojen, esimerkiksi lämpökameran ja laseretäisyysmittarin, hyödyntämisen torjuntatilanteessa.[41]

Ilmatorjuntaohjusjärjestelmien haasteina tulevaisuudessa ovat yhden järjestelmän kyky torjua useita maaleja samanaikaisesti. Ohjusten hakupäissä pyritään hyödyntämään sekä aktiivisia että passiivisia menetelmiä, jotka hyödyntävät koko sähkömagneettista spektriä taistelunkestävyyden parantamiseksi. Millimetrialueen hakupäät mahdollistavat pienempien komponenttien käyttämisen ohjuksissa nopeuden, liikehtimiskyvyn ja osumatarkkuuden kärsimättä. Vastustajan vastatoimien väistämiseksi ohjusten prosessointi- ja ohjausalgoritmien kehittyminen auttaa maalin erottamisessa vastatoimista.[46]

Tulevaisuudessa lyhyen kantaman ilmatorjuntaohjusten ehdottomana kantamavaatimuksena voidaan pitää seitsemästä kahdeksaan kilometrin kantamaa[46]. Tämän vuoksi asevalmistajat pyrkivät kasvattamaan omien järjestelmien kantamaa erilaisilla modernisoinneilla.[41]

2.2.2. Ohjattavat ohjusjärjestelmät

Ohjattavat ohjusjärjestelmät perustuvat maalin ja ampuvan lavetin väliseen näköyhteyteen (Line of Sight, LOS). Ohjusjärjestelmät ovat joko komento-ohjattuja tai säteenseuraajia.

Lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmissä käytettävä komento-ohjausmenetelmä on automaattinen maalin seuranta (Automatic Command to Line of Sight, ACLOS). Tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmän sensorit seuraavat sekä maalia että ohjusta. Ohjauskomennot välitetään ohjukselle automaattisesti.[34] Tulevaisuudessa juuri komento-ohjattujen ohjusten ohjauskomentojen välittäminen nähdään järjestelmien kriittisenä tekijänä. Ohjuksen vastaanottamaa ja lähettämää signaalin rakennetta kehitetään edelleen. Toinen kehityssuuntaus pyrkii kehittämään järjestelmiä siten, että kyky ampua ilman näköyhteyttä (Non Line of Sight, NLOS) parantuisi etenkin nopeissa helikopterimaalien torjuntatehtävissä.[46]

Säteenseuraajamenetelmää käyttävissä järjestelmissä maalia seurataan joko laser- tai tutkalähteellä. Säteenseuraajaohjus lentää maaliin koodatun säteen muodostamaa kujaa pitkin. Ohjuksen lentoa ohjaava tietokone sijaitsee ohjuksessa ja ohjus laskee ja määrittää paikkansa säteen muodostamaan kujaan nähden tarvittavien korjausten tekemiseksi itse.[34]

2.2.3. Hakeutuvat ohjusjärjestelmät

Maaliin hakeutuvissa lyhyen kantaman ilmatorjuntaohjuksissa hyödynnetään joko lämpösensoria ja hakeutumista lämpölähteeseen tai laserohjausta. Järjestelmän toimintaperiaatteet ovat riippuvaisia järjestelmän käyttötarkoituksesta ja halutusta ampumaetäisyydestä. Kehittynyt tekniikka mahdollistaa pienempien komponenttien valmistamisen ja siten pienet lyhyen kantaman ilmatorjuntaohjukset voidaan myös varustaa useilla ohjaus- ja hakeutumismenetelmillä.[34]

Lämpöhakuisten infrapunaohjusten hakupäissä hyödynnetään ilmakehän ikkunoita siten, että kuvantavissa hakupäissä käytetään yleensä 8-14 μm infrapunaikkunaa ja yksielementtisissä hakupäissä 3-5 μm ikkunaa. Kuumaan lämpölähteeseen, esimerkiksi lentokoneen moottorin lämpöön hakeutuvissa hakupäissä käytetään 0,7-1,5 μm ikkunaa.[34] Venäläisen Pantsir-S1-järjestelmän ohjuksen hakupää toimii lähi-infrapuna-alueella (0,8 μm) mahdollisimman hyvän häirinnän sietämisen saamiseksi. [47]

2.2.4. SOSNA-R

Venäläinen SOSNA-ilmatorjuntaohjusjärjestelmä on kehitetty osin korvaamaan jo 1970-luvulla kehitetty STRELA-10-ilmatorjuntajärjestelmä. SOSNA pyrkii tarjoamaan vaihtoehdon yksinkertaisempaan järjestelmään teknisesti vaativille ja sen vuoksi kalliille Pantsir-S1 ja TOR-ilmatorjuntajärjestelmälle. Edellä mainittujen asioiden lisäksi SOSNA on passiivinen järjestelmä, kun taas Pantsir-S1 ja TOR ovat haavoittuvaisia tutkaan hakeutuville ohjuksilla.[33] SOSNA-järjestelmän kehityksessä on huomioitu lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien yleiset tulevaisuusvaatimukset: kantamaa on kasvatettu viidestä kilometristä yli seitsemään kilometriin, tulivoimaa on kasvatettu, järjestelmällä kyetään tunnistamaan omat koneet sekä vaikuttamaan projektiileihin. Järjestelmä voidaan asentaa erilaisille laveteille, esimerkiksi MT-LB-taisteluajoneuvoon. Järjestelmän laivastoversio on nimeltään PALMA.[33; 36]



Kuva 1: SOSNA [33]

Valmistajan mukaan SOSNA-ilmatorjuntajärjestelmän kehittäminen on aloitettu vuonna 1997. SOSNA on alkuperäisen suunnitelman mukaan hinattava, 30 millimetrin A38M-tykillä varustettu ilmatorjuntatykkijärjestelmä. Järjestelmää kehitettiin edelleen siten, että samalla tulenjohtojärjestelmä kyetään ampumaan myös ilmatorjuntaohjuksia. Alkuperäisen suunnitelman mukaisesti järjestelmässä olisi käytetty Kolomnan KBM Igla -ohjusta (NATO SA-18 Grouse). Suunnitelmasta luovuttiin ja tällä hetkellä järjestelmä on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä SOSNA-R -ohjuksen kanssa.[27]

SOSNA-järjestelmä koostuu elektro-optisesta järjestelmästä (EOCS) ja 12 ampumavalmiista SOSNA-R-ohjuksesta. EOCS muodostuu lämpökamerasta, laseretäisyysmittarista, ohjuksen ohjaamiseen käytettävistä laserjärjestelmistä, TV-järjestelmistä sekä järjestelmää ohjaavasta

tietokoneesta. Järjestelmän lämpökamera omaa korkean herkkyyden ja sitä voidaan käyttää myös sumuisella säällä. Maalinosoitus voidaan tehdä joko ulkoisella maalinosoituksella tai itsenäisesti toteutetulla sektorietsinnällä. Automaattinen maalinsintä 60x5,3 asteen sektoriin kestää keskimäärin neljä sekuntia. Lämpö- ja TV-kamerat ovat molemmat varustettu kapealla ja leveällä näkökentällä, joita operaattori voi käyttää. Järjestelmän laseretäisyysmittarin aallonpituus on 1,064 μm . Pulssin energia on 0,1 J ja pulssintoistotaajuus on 10 Hz. Säde on stabiiloina 0,1 milliradiaaniin. Järjestelmä kykenee omilla sensoreillaan ottamaan maalin seurantaan seuraavasti:[14; 33]

- hävittäjä 16-30 kilometriä
- helikopteri 10-14 kilometriä
- risteilyohjus 8-12 kilometriä

Laseretäisyysmittarin tarkkuus 12 kilometrin etäisyydellä helikopteriin on ± 5 m[28].

SOSNA-R/9M337 on säteenseurantaan perustuva ilmatorjuntaohjus. Ohjuksen toiminta on kaksivaiheinen. Lennon ensimmäisen sekunnin aikana ohjus saa komennot radiolla, jonka jälkeen ohjus seuraa lasersädetä. Ohjuksen kantama vaakasuunnassa on 1,3-10 km ja pystysuunnassa 2-5000 m. Ohjuksen paino on 30 kg ja kuljetuslaatikossakin vain 42,5 kg. Ohjuksen taistelulatauksen paino on lähteistä riippuen 5-6,9 kg. Ohjuksen sytytin on 12-kanavainen laserheräte- ja iskusytytin. Teho perustuu sirpaloitumiseen ja tunkeutumiseen. Ohjuksen kiihdytysmoottorin halkaisija on 0,140 m ja itse ohjuksen halkaisija 0,072 m. Ohjuksen pituus on 2,3 metriä. Ohjuksen kiihdytysmoottori palaa 1,5 sekuntia antaen ohjukselle huippunopeudeksi 875 m/s. Maalin suurin nopeus voi olla 500 m/s. Ohjuksen maksimi liikehtimiskyky on 52g. [28; 33]

2.3. Hybridijärjestelmät

2.3.1. Hybridijärjestelmien kehityksestä

Hybridi-ilmatorjuntajärjestelmillä tarkoitetaan järjestelmiä, joissa samassa lavetissa on sekä tykki- ja ohjusjärjestelmä saman valvonta- ja tulenjohtosensorin johdossa. Hybridijärjestelmien kehitykseen on johtanut tarve yhdistää erilaiset asejärjestelmät vastaamaan erilaisten maailtilanteiden asettamaan uhkaan. Ohjusjärjestelmällä pyritään aloittamaan torjunta ennen kuin hyökkääjä kykenee käyttämään omia asejärjestelmiä suojattavaa kohdetta vastaan. Tykkijärjestelmät on tarkoitettu järjestelmän suojaksi sekä käytettäväksi nopeisiin maailtilanteisiin, esimerkiksi taisteluhelikoptereiden torjuntaan. Ohjusjärjestelmä voi olla joko komento-ohjattu

tai passiivinen infrapunaohjusjärjestelmä. Länsimaiset järjestelmät ovat pääsääntöisesti passiivisia, ja venäläiset komento-ohjattuja asejärjestelmiä.[31]

Ehkä tunnetuin hybridi-ilmatorjuntajärjestelmä on venäläisvalmisteinen 2S6 Tunguska, joka on otettu palveluskäyttöön vuonna 1982. Tunguskan asejärjestelminä ovat kaksi 30 millimetrin kanuunaa sekä komento-ohjatut ilmatorjuntaohjukset. Tunguskan seuraajaksi Venäjällä on kehitetty Pantsir-S1-hybridi-ilmatorjuntajärjestelmä, joka on varustettu kahdella 30 mm 2A38M-ilmatorjuntakanuunalla sekä 57E6-E-ohjuksella. Ohjus on kaksivaiheinen komento-ohjattu ohjus. Pantsir-S1-järjestelmän kehitys on kestänyt noin 20 vuotta. Pitkä kehitys on mahdollistanut sen, että järjestelmän kykenee teknisesti torjumaan kaikki mahdolliset maalit lentokoneista risteilyohjuksiin sekä ilmasta-maahan-täsmäaseet.[31; 47]

Tulevaisuudessa hybridi-ilmatorjuntajärjestelmissä käytettävät teknologiat tulevat lisääntymään aikaisemmin käytettyjen tykki- ja ohjusteknologioiden lisäksi. Uutena teknologiana hybridijärjestelmiin tulee nousemaan laser. Esimerkkinä kehityksestä on esimerkiksi Boeing-yhtiön kehittämä versio jo 20 vuotta palvelleeseen Avenger-ilmatorjuntajärjestelmään. Kyseisestä järjestelmästä on kehitetty monikäyttöinen asejärjestelmätorni, joka mahdollistaa esimerkiksi Stinger-ilmatorjuntaohjuksen ja suurteholasersäteeseen perustuvan aseiden käyttämisen samassa lavetissa. Järjestelmän kehitys on edennyt siten, että vuonna 2007 ammuttiin ensimmäisen kerran sekä laseraseella että ammusaseella.[5]

Toinen kehityssuunta johtaa tarpeeseen käyttää erilaisiin tekniikoihin perustuvia ilmatorjuntaohjuksia saman tulenjohtosensorin johdossa. Yksi tämän suuntauksen peruste löytyy tarpeesta toimia kustannustehokkaasti erilaisia uhkia vastaan. Esimerkiksi MBDA on kehittänyt ilmatorjuntajärjestelmää, jossa käytetään Mistralin erittäin lyhyen kantaman ilmatorjuntaohjusta sekä pystysuoraan laukaistavaa MICA lyhyen kantaman ilmatorjuntaohjusta.[41]

2.3.2. RAPIDFire ilmatorjuntajärjestelmä

RAPIDFire on Thalesin valmistama uuden sukupolven hybridijärjestelmä, joka perustuu Starsteak-ilmatorjuntaohjuksen sekä 40 millimetrin ilmatorjuntakanuunan käyttämiseen samassa asejärjestelmässä. Järjestelmä on kehitetty suojaamaan tärkeitä kiinteitä kohteita sekä liikkuvia joukkoja. Järjestelmä on pitkälle automatisoitu. RAPIDFire:n ase- ja sensoritorni voidaan asentaa pyörä- ja telalaveteille. Järjestelmä kykenee tekniikkansa puolesta torjumaan kaikkia nykyaikaisia maaleja, kuten lentokoneita, helikoptereita, lennokkeja, risteilyohjuksia sekä täsmäaseita.[49] Keskeistä RAPIDFire-järjestelmän kehittämisessä on ollut Thalesin mukaan tarve kehittää järjestelmä, joka on tehokas lennokkeja vastaan.[6]



Kuva 2: RAPIDFire-järjestelmä [49]

RAPIDFire-järjestelmä kykenee itsenäiseen toimintaan ilman ulkopuolista maalinosoitusta omien, järjestelmään integroitujen sensoreidensa avulla. Järjestelmässä on näkyvän valon ja infrapuna-alueella toimivat kamerat, jotka mahdollistavat järjestelmän käyttämisen sekä päivällä että yöllä. Järjestelmä kykenee osoittamaan hävittäjäloukan maalin optisesti 12 kilometrin etäisyydelle. Lisäksi järjestelmässä on laseretäisyysmittari sekä laserosoitin maalin osoittamiseen. RAPIDFire:n reaktioaika maalitilanteisiin on 4,5 sekuntia. Tykkiä voidaan käyttää itsepuolustukseen jopa järjestelmän liikuessa. RAPIDFire-järjestelmään voidaan liittää myös itsenäiseen toimintaan kykenevä Multi-Target Tracking-tutka, joka havaitsee hävittäjän 30 ja taisteluhelikopterin 15 kilometrin etäisyydeltä. Tutka tekee järjestelmästä joka sään toimintakykyisen. Lisäksi tutkassa on nykyaikaiset häirinnänväistämömodit.[49]

RAPIDFire-järjestelmä voidaan liittää myös osaksi ilmapuolustusjärjestelmää, joka muodostuu CONTROLMaster 60-ilmavalvontatutkasta sekä CONTROLView-komentolavetista. CONTROLMaster-tutka on Thalesin kehittämä 3D-ilmavalvontatutka, jonka suurin mittausetäisyys on 80 kilometriä. Viidennen sukupolven hävittäjiin valmistaja takaa noin 50 kilometrin ja risteilyohjuksiin sekä lennokkeihin noin 25 kilometrin mittausetäisyyden. Tutkan maksimi mittauskorkeus on 15 kilometriä. Tutkalla kyetään seuraamaan samanaikaisesti jopa 200 maalia, joiden suurin nopeus voi olla 1200 m/s. Järjestelmä on varustettu IFF-laitteella. Yhden tutkan ja komentopaikan johdossa voi toimia 6 RAPIDFire-järjestelmää.[48]

RAPIDFire -järjestelmän tykkinä on CTA International-yhtiön valmistama 40 millimetrin kanuuna, jonka tehokas ampumaetäisyys ilmamaaliin on 4 kilometriä ja pintamaaliin 2,5 kilometriä. Ase ampuu teleskooppisia ammuksia, jotka tarvitsevat vähemmän tilaa itse aseessa. Ilma-ammuntaa varten on kehitetty erityinen Anti-Aerial Air Burst-ammus (AA-AB), jonka

tarkoituksena on räjähtää ennen kohdetta. Ammus sisältää yli 200 vähintään 3,3 grammaa painavaa volframikappaletta, jotka iskeytyvät maaliin. Ammuksessa on aikasytytin. Räjäytysaika perustuu maalin etäisyytietoon. Volframikappaleet muodostavat tämän jälkeen metallipilven maalin eteen. Tykin tulinopeus on 200 laukausta minuutissa. Tyypillinen sarja maalitalanteeseen on 1-10 AA-AB-laukausta. [10] Tykin Aseella voidaan ampua myös APFSDS- ja GPR-AB-ammuksia. Ensin mainittua käytetään panssaroituja ajoneuvoja ja jälkimmäisiä muita pintamaaleja vastaan. GBR-AB-ammuksen toimii samalla periaatteella AA-AB-ammuksen kanssa räjähtäen ja sirpaloituen ennen kohdetta.[49]



Kuva 3: RAPIDFire-järjestelmässä käytettävät ammuksset. Vasemmalla Starstreak-ohjus ja äärimmäisenä on oikealla tykissä käytettävä 40 mm teleskooppiammus verrattuna muihin ammuksiin [8; 52]

RAPIDFire -järjestelmän ohjuksena käytetään Thalesin valmistamaa Starstreak-ohjusta, joka on otettu ensimmäisen kerran palveluskäyttöön jo vuonna 1997. Vuonna 2007 Thales julkaisi Starstreak II -ohjuksen, jonka kantama on kasvatettu seitsemään kilometriin.[3] Tämän vuoksi RAPIDFire:n kantama on edellä mainittu seitsemän kilometrin vaakaulottuvuus ja 4500 metrin pystyulottuvuus. Järjestelmässä on kuusi ampumavalmistaohjusta.[49]

Starstreak-ohjus on lasersädetä seuraava ohjus. Sen moottori on kaksivaiheinen. Ensimmäinen vaihe kiihdyttää ja heittää ohjuksen ulos laukaisuputkesta. Toinen vaihe kiihdyttää ohjuksen 3,5 Machin huippunopeuteen. Toisen vaiheen aikana ohjuksen kolme nuolta irtoavat. Nuolet seuraavat lasersädetä noin 1,5 metrin säteellä. Nuolten kärjet ovat volframiseosta. Jokaisessa nuolessa on viivästetty iskusytytin, joka räjähtää vastaa kohteen sisällä. Volframikärki on suunniteltu sirpaloitumaan kohteessa.[52]

3. UUDET TEKNOLOGIAT 2030-LUVUN LYHYEN KANTAMAN ILMATORJUNTAJÄRJESTELMISSÄ

3.1. Kehitystrendit

Tarkastelujaksolla ilma-aseen ja ilmauhkan osalta ei tule tapahtumaan merkittäviä muutoksia. Ilma-alusteknologia tulee kehittymään, mutta fysiikan lakien, energian ja painon sekä lujuuden ja painon suhteissa ei tule tapahtumaan radikaaleja muutoksia.[36, s.16] Tarkastelujaksolla lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien teknistä kehitystä tulee ohjaamaan teknologian kehittyminen sekä tarve torjua pieniä maaleja, kuten lennokkeja, ja erilaisia heitteitä.[15; 36]

Tutkimuksen kehitystrendien määrittäminen on tehty analysoimalla ja luokittelemalla vuosien 2011 ja 2012 Jane's Defence Weekly- ja Jane's Land Based Air Defence -julkaisuja. Analysointia on täydennetty suoritettulla haastattelulla, jolla on haettu teollisuuden näkemystä teknologian kehittymiseen tarkastelujaksolla. Saatuja tietoja verrataan tutkimuksen aikaisempiin lukuihin.

Suoritettut haut on dokumentoitu ja hakuparametrit on kirjattu tutkimusraportin liitteeseen kaksi. Hakukriteerejä jouduttiin laajentamaan riittävän materiaalin aikaan saamiseksi. Eräät tarkasteluun sisältyneet artikkelit olisivat jääneet haun ulkopuolelle vielä tarkemmilla hakukriteereillä. Annetuilla hakukriteereillä saatiin 211 hakutulosta, joista 40 artikkelia käsitteli tämän tutkimuksen rajauksen mukaisesti lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmiä. Hakujen jakautuminen eri teknologioiden kesken on esitetty liitteessä kaksi.

Tutkimuksen perusteella ohjusjärjestelmiin perustuvat ilmatorjuntajärjestelmät tulevat säilyttämään asemansa tarkastelujaksolla. Ohjusjärjestelmien kehityksessä on tällä hetkellä voimakkaana trendi kehittää jo olemassa olevia järjestelmiä vastaamaan tulevaisuuden uhkakuvia. Täysin uusia ohjuksia on kehitteillä erittäin vähän. Erittäin voimakkaana trendinä nähdään nykyisten olalta tai maajalustalta laukaistavien ohjusten siirtäminen ammuttavaksi laveltilta ammunnanhallintasensorin antaman maali tiedon perusteella. Edellä mainittuun liittyy myös keskeisesti tarve liittää nykyiset ohjusjärjestelmät osaksi ilmatorjunnan kokonaisuutta yhteisen sensori- ja tilannetiedon välittämiseksi ja omien koneiden tunnistamiseksi.[15]

Ohjusjärjestelmissä käytettävät ohjautusmenetelmissä ei tulla näkemään merkittävä muutoksia. Aktiivisten ja passiivisten ammu ja unohda -tyyppisten järjestelmien merkitys tulee korostumaan etenkin niiden järjestelmien keskuudessa, jotka ovat tarkoitettu liikkuvien joukkojen suojaamiseksi. Edellä kuvattu kehitys ei kuitenkaan tule vähentämään CLOS-järjestelmien kehittämistä, koska ne ovat edullisimpia valmistaa ja siten kustannustehokkaampia torjuttaessa halpoja projektiileja.[15]

Ammusilmatorjunta-aseissa käytettävän teknologian kehittäminen on tutkimuksen perusteella toinen trendi, joka tulee säilyttämään asemansa tarkastelujaksolla. Tykkijärjestelmien kehittämisessä on keskeistä niiden kehittäminen siten, että ne ovat liitettävissä erilaisiin tulenjohtojen ja sensorijärjestelmiin. Kehitystä tulee ohjaamaan niiden käyttäminen CRAM tehtävissä esimerkiksi kansainvälisissä tehtävissä suojattaessa tukikohtia. Tämä voi johtaa tulinopeuden kasvattamiseen sekä ammusten kehittämiseen.[15]

Laserteknologian hyödyntäminen lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmissä on tutkimuksen perusteella nouseva trendi. Laserteknologia nähdään kustannustehokkaana menetelmänä etenkin heitteiden torjunnassa. Teknologian kehitys on mahdollistanut uusien järjestelmien kehittämisen siten, että ensimmäisten lasertekniikkaa hyödyntävien järjestelmien testaukset ovat edenneet viime vuosina siihen asti, että aseet ovat toimineet tulenjohtosensorien johtamina. Lasertekniikan käyttämisen haasteena lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmissä voidaan vielä pitää niiden suhteellisen heikkoa liikkuvuutta suhteessa suojattavaan kohteeseen sekä suurta tehon tarvetta. Tekniikan kehittyminen voi johtaa siihen, että edellä kuvatut haasteet on ratkaistu 2030-luvulla tai sen jälkeen.[15]

3.2. Laserteknologia

Laserteknologian hyödyntämistä kohteiden suojaamisessa on hyödynnetty ja kehitetty 1970-luvulta alkaen. Esimerkiksi Yhdysvalloissa käytettiin vuodesta 1970 vuoteen 1983 tarkoitusta varten modifioitua KC-135A-lentokonetta lentävänä laserlaboratoriona, jota käytettiin laseraseiden kehitykseen. Kone oli varustettu hiilidioksidisuurteholaserilla, jolla kyettiin torjumaan jo vuonna 1983 Sidewinder- ja risteilyohjus. Yhdysvalloissa 1980-luvulla käytössä ollut Tähtien sota -hanke piti sisällään laserteknologian hyödyntämistä sotilaskäyttöön. Nykyään Yhdysvalloilla on käytössä Boeing 747 -koneeseen asennettu COIL-laser (chemical oxygen-iodine laser).[40, s.210]

Suurteholaserin määritelmä on osittain ristiriitainen. Yhtenä keskeisenä määrittelyperusteena lukuarvojen (teho tai energia-arvo) lisäksi voidaan pitää sitä, että laserilla pitää saada kohteeseen fyysinen vaurioittava vaikutus. Suurteholaserit voidaan tehovaatimusten perusteella jakaa kolmeen luokkaan. Tämä jako edellyttää laajaa tulkintaa luokittelussa. Kategorioita ovat

- Sensoreiden sokaisu ja harhauttaminen
- Sensoreiden ja optiikan vaurioittaminen
- Rakenteellinen vaurioittaminen [35]

Laserteknologian edut kohteiden suojaamisessa ovat ammuksen halpa hinta suhteessa torjuttavaan kohteeseen sekä lasersäteen eteneminen valonnopeudelle. Juuri suuri nopeus korostuu etenkin lyhyen kantaman torjunnassa, koska säteen nopeus ei jätä torjuttavalle kohteelle aikaa väistöliikkeille. Lasersäteen vaikutus kohteessa on terminen. Etenkin suurilla energioilla kohteeseen osuva lasersäde aiheuttaa suurpaineaaltoja tai shokkiaaltoja, jotka vaurioittavat kohdetta. [35; 40]

Lasersäteen eteneminen perustuu aaltoliikkeen etenemiseen, joka edetessään altistuu ilmakehän häiriöille. Esimerkkejä häiriöistä ovat sumu, sade ja pöly. Laseraseen kantaman määrittämiseen vaikuttavat ilmakehän häiriöt sekä käytettävä teho. Käytettävän laserteknologian valintaan vaikuttavat kohteeseen haluttu vaikutus ja käyttöympäristö. Laserase voi toimia joko pulssitettuna tai jatkuvana. Keskeisiä käytettyjä lasertekniikoita ovat kiinteäainelaserit, puolijohdelaserit sekä etenkin tulevaisuudessa käytettävissä olevat vapaaelektronilaserit (Free Electron Laser, FEL). Jälkimmäisen käyttö tulee korostumaan etenkin maakohteiden ja laivojen suojaamisessa, koska niissä voidaan käyttää painavia järjestelmiä. FEL-aseiden käytön etuna voidaan pitää sitä, että järjestelmä ei tarvitse kemikaaleja käyttöönsä. Niiden käyttöä rajoittaa vain niiden tarvitsema suuri energia. [35; 40] FEL-lasereiden vahvuus on siinä, että niiden pulssia voidaan säätää vastaamaan käyttöympäristöä ja täten kasvattaa niiden vaikuttavuutta [40].

Kuten jo aikaisemmin on kuvattu, laseraseella voidaan vaikuttaa kohteeseen eri tavoilla ja täten täyttää ilmatorjunnalle asetettu tehtävä. Ilmatorjuntajärjestelmissä käytettävät laseraseet perustuvat joko optiikan tai kohteen (lentokone, lennokki, projektiili) tuhoamiseen. Tällä hetkellä kehitetyt laseraseet kykenevät tuottamaan riittävän tehon kohteen tuhoamiseen. Metallista tai teräksestä tehdyn kohteen vaurioittamiseen tarvittava energia neliösenttiä kohti on 100,000 J. Vastaavasti esimerkiksi ohjuksen hakupään vaurioittamiseen tarvittava teho on 1000 J/cm^2 . [40]

Laserteknologian tämän hetken rajoituksina nähdään niiden tarvitsema suuri tehon tarve riittävän tehokkaan lasersäteen muodostamiseksi. Tällä hetkellä valmistajat pyrkivät kehittämään laserteknologiaa hyödyntävistä asejärjestelmistä kevyempiä ja pienempiä. Tämä kehitys helpottaa ja parantaa järjestelmien liikkuvuutta suojattavan kohteen mukana. Nämä edellä luetellut käyttörajoitukset on ratkaistavissa riittävän kustannustehokkaasti 2030-luvulta alkaen.[15]

Eräitä pisimmälle kehitettyjä projekteja ovat Rheinmetallin suurteholaserase (HPLW), Lockheed Martinin Area Defense Anti-Munitions -järjestelmä (ADAM) sekä Boeingin Laser Avenger -järjestelmä.

3.3. Esimerkkejä lasertekniikka hyödyntävistä järjestelmistä

Rheinmetall Defence -yhtiö on kehittänyt saman yhtiön Skyshield-ilmatorjuntatykin torniin sijoitettua laserjärjestelmää ensisijaisesti heitteiden torjuntaan sekä lennokkeja vastaan. Järjestelmän kehitys on edennyt siten, että marraskuussa 2012 yhtiö kokeili 50 kW:n tehoa järjestelmässä. Tätä on edeltänyt 1 kW:n tehon testaus vuonna 2010 ja 2011 yhtiö käytti kahta 5 kW:n asetta muodostaen 10 kW:n tehon kohteeseen. Merkittävä kehitysskaskel otettiin vuonna 2011, kun järjestelmä liitettiin Skyshieldin kanssa käytettävään Skyguard-ammunnanhallintajärjestelmään.[6; 9]

Rheinmetallin 50 kW:n järjestelmä koostuu 20 kW:n ja 30 kW:n lasertorneista sekä Oerlikonin Skyguard-järjestelmästä, jolla osoitetaan maalit järjestelmälle. Skyguard on pimeätoimintakykyinen. Maalin havaitsemisen jälkeen maali osoitetaan lasertornille (BFU), joka ottaa maalin seurantaan saadun tiedon ja tornissa olevan oman optisen sensorin perusteella. Lasertornit laukaisevat säteen maalin saapuessa määritetylle ampumasektorille, joka voidaan määrittää etukäteen.[6; 9; 13] Skyguardia käytetään myös Israelin ja Yhdysvaltain yhteisessä THEL-projektissa [23].



Kuva 4: Rheinmetallin 50 kW:n laserasejärjestelmä, joka on asennettu 35 mm:n Skyshield-järjestelmän torniin [13]

Marraskuussa 2012 suoritetussa kokeessa Rheinmetall testasi järjestelmää kolmessa erilaisessa maalitilanteessa. Ensimmäisessä kokeessa poltettiin rikki tuhannen metrin etäisyydellä ollut 15 mm:n paksuinen teräspalkki. Toisessa kokeessa tuhottiin edellä kuvatulla tavalla lennokka. Viimeisessä kokeessa testattiin järjestelmän CRAM-kykyä tuhoamalla onnistuneesti 82

mm:n kokoisia teräspalloja kahden kilometrin etäisyydeltä maalien nopeuden ollessa 50 m/s.[9; 13]

Lockheed Martin -yhtiön ADAM-järjestelmä on kehitetty torjumaan pieniä lennokkeja sekä heitteitä. Järjestelmä on suunniteltu käytettäväksi tärkeiden, kiinteiden kohteiden sekä maa-joukkojen tukikohtien suojaamiseen. Järjestelmässä käytetään 10 kW:n kuitulaseria. ADAM kykenee havaitsemaan maalin 5 km etäisyydeltä ja tuhoamaan maalin aina kahden kilometrin etäisyydeltä. [2; 38]

Järjestelmää voidaan käyttää itsenäisesti tai osana ilmatorjuntajärjestelmää, jolloin maalin osoitus voidaan antaa esimerkiksi ulkoiselta tutkalta. ADAM-järjestelmää on testattu syksyn 2012 aikana. Testien perusteella järjestelmä kykenee havaitsemaan ja tuhoamaan lennokkeja ja heitteitä noin kahden kilometrin etäisyydeltä. [39] Suoritetujen testien perusteella ADAM kykenee havaitsemaan, aloittamaan seurannan ja tuhoamaan maalin kolmen sekunnin kuluessa [11]. Järjestelmän kehityksessä on huomioitu mahdollisuus käyttää kaupallisia komponentteja sekä se, että järjestelmä on käyttäjälle helppo operoitava.[39]



Kuva 5: Lockheed Martin Area Defense Anti-Munitions (ADAM) [38]

Boeing on kehittänyt puolijohdetekniikkaan perustuvan Laser Avenger -järjestelmän, joka pohjautuu jo yli 20 vuotta käytössä olevaan Avenger-ilmatorjuntajärjestelmään. Avenger on alkuaan ollut Yhdysvaltain armeijan keskeisimpiä lyhyen kantaman ilmatorjuntaohjusjärjestelmiä. Alkuperäisessä Avangerissa on kahdeksan ampumavalmista Stinger-ilmatorjuntaohjusta. Laserteknologiaan perustuvan järjestelmän kehityksellä on pyritty vastaamaan muuttuviin uhkakuviin varustamalla Avenger-järjestelmän torni tehtävän ja käyttöperiaatteiden vaatimusten mukaisilla aseilla. Laser Avengerin kehittämisessä on huomioitu

etenkin kyky torjua pieniä miehittämättömiä aluksia (UAV). Tornissa voidaan käyttää Stinger-ohjuksia, ammusaseita sekä viimeisimpänä kehityksenä puolijohdelaseria.[5; 24]

Laser Avengerin prototyyppi suoritti ensimmäisen ampumatestin syyskuussa 2007. Testauksia jatkettiin siten, että vuonna 2008 järjestelmällä kyettiin torjumaan pieniä paikallaan olevia lennokkeja. Seuravana vuonna Laser Avenger kykeni toimimaan lennokkeja vastaan todellisessa tilanteessa. Kehityksen aikaan Boeing on kyennyt kaksinkertaistamaan laserin tehon, parantamaan häiriönkestävyyttä ja samalla pienentämään kustannuksia. Järjestelmä voidaan lisäksi asentaa erilaisille alustoille.[5; 24]

Avengerin laserjärjestelmä on integroitu Avengerin ammunnanhallintajärjestelmään. Tornissa on laseraseen lisäksi neljä Stinger-ohjusta sekä 0,5 tuuman konekivääri (HMG). Maalin havaitsemisen jälkeen laserjärjestelmä lukkiutuu maaliin. Järjestelmä omaa hyvän seurantakyvyn myös haastavassa ympäristössä. Laser voidaan laukaista vasta maalin tunnistamisen jälkeen. Laseria voidaan käyttää myös maalin valaisemiseen ja lämmittämiseen, jotta Stingerin hakupää voi lukkiutua ohjuksen hakupäälle normaalista liian kylmään maaliin.[24]



Kuva 6: Boeing Laser Avenger, tornissa neljä Stinger-ohjusta sekä puolijohdelaser [24]

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien osalta tällä hetkellä eletään tilannetta, missä valmistajat ylläpitävät ja kehittävät nykyisen teknologian tasoa. Tähän on johtanut esimerkiksi järjestelmiä ostavien valtioiden tahto hankkia jo olemassa olevaa teknologiaa. Toinen suuntaus on se, että tällä hetkellä ei ole nähtävissä ilma-aseen osalta merkittävää muutosta tulevana vuosikymmeninä. Seuraavan noin 20 vuoden aikana käyttöön tulevat uudet ilma-aseen eri osatekijät, lentävät laitteet ja aseet, ovat jo nyt nähtävissä.

Teknologian kehitys johtaa itsessään järjestelmien kehittymiseen. Tämä mahdollistaa parempien järjestelmien kehittämisen. Tässä kehityksessä tukeudutaan tällä hetkellä nykyisin käytössä olevaan kalustoon. Esimerkiksi maailmalla ei ole nyt käynnissä merkittäviä uusien lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien kehityshankkeita.

Tutkimuksen mukaan ohjusjärjestelmien kehittäminen tulee olemaan nykyisin käytössä olevien järjestelmien osalta keskeisin kehityssuunta. 2030-luvulle tultaessa ohjusjärjestelmiä kehitetään siten, että niiden kantamaa pyritään kasvattamaan. Ohjusjärjestelmiä tullaan edelleen kehittämään käyttäen hyväksi erilaisia hakeutumis- ja ohjautusmenetelmiä. Yhtenä merkittävänä tekijänä edellä kuvatussa kehityksessä voidaan nähdä kustannustehokkuusajattelu. Ohjattavat ohjukset ovat halvempia käyttää halpoihin maaleihin. Hakeutuvien ohjusten tekniikka on kehittyneempää ja siten kalliimpaa käyttää. Pienet komponentit mahdollistavat ohjuksissa myös useamman ohjaus- ja hakeutumismenetelmän käyttämisen.

Tutkimuksen ensimmäisellä alakysymyksellä vastataan tulevaisuuden lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien käyttöympäristöön. Tällä hetkellä ja tulevaisuudessa ohjukset nähdään maailmalla osana ilmatorjuntajärjestelmää. Lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmillä on kyettävä suojaamaan kohde tilanteissa, missä pitemmän kantaman järjestelmät eivät ole torjunut maalia. Tämä kehitys on johtanut ja tulee yhä johtamaan tarpeeseen liittää nykyiset ohjusjärjestelmät osaksi ilmatorjuntajärjestelmää. Lisäksi maalit on kyettävä tunnistamaan ennen torjuntaa. Tämä edellyttää esimerkiksi olkapäältä ammuttavien ohjusten liittämistä lavettiin ja tulitoimintaa sensoritietojen perusteella. Tulevaisuudessa järjestelmillä tullaan suojaamaan samantyyppisiä, omalle toiminnalle kriittisiä kohteita kuin nykypäivänä. Tulevaisuudessa suojattavia kohteita voi olla vähemmän mutta yksittäisen kohteen merkitys tehtävän suorittamiselle tulee nousemaan. Tähän johtaa joukkojen vähentyminen. Keskeistä on kyky toimia yhdessä muiden kohdetta suojaavien joukkojen ja järjestelmien kanssa. Tulevaisuuden lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmiä tulee kyetä käyttämään sekä taistelu- että tukialueen koh-

teiden suojana. Taistelualueen kohteiden suojana olevilla järjestelmillä tulee olla sama liikkuvuus kuin suojattavalla kohteella.

Lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmien vahvistuva rooli heitteiden ja pienien lennokkien torjunnassa tulee tutkimuksen mukaan kasvamaan nyt ja lähitulevaisuudessa. Tämä kehitys yhdessä kehittyvän sensoritekniikan kanssa tukee ammusilmatorjuntajärjestelmien aseman säilymistä osana ilmatorjuntajärjestelmää. Ammusaseiden käyttäminen tulee olemaan kustannustehokas vaihtoehto esimerkiksi kansainvälisissä tehtävissä, koska näissä tehtävissä uhan muodostaa rauhanturvaajien leirejä vastaan ammutut epäsuoran tulen ammukset. Samoja järjestelmiä voidaan käyttää myös lentokoneista, helikoptereista ja taistelulennokeista ammuttaja rynnäkköohjuksia vastaan. Tykkijärjestelmien kehityksessä tulee olemaan trendinä se, että asetornit ovat miehittämättömiä ja aseet toimivat ammunnanhallintajärjestelmän ja sille maali-tiedon antavan sensorin johdossa. Ammusaseiden kehittämisen painopisteinä on ollut ja tulee olemaan tulinopeuden kasvattaminen ja ammusten kehittäminen. Tämän kehityksen tavoitteena tulee olemaan kyky vastata CRAM uhkaan. Yksi keino on esimerkiksi RAPDFiressä käytettävä ammus, joka muodostaa esisirpaloiduista volframikuulista pilven ammuksen eteen täten kasvattaen torjuntakykyä pieniin maaleihin.

Tulevaisuuden taistelukentän tehtävät tulevat myös tukemaan hybridijärjestelmien kehitystä. Uutena kehityssuuntana näissä järjestelmissä tulee olemaan tarve käyttää samassa lavetissa erilaisia ohjautus- ja hakeutumistekniikoita käyttäviä ohjuksia. Tämä kehityssuunta voi tutkimuksen mukaan vahvistua perinteisen ohjuksia ja tykkejä käyttävissä järjestelmissä.

Tutkimuksen toisena alakysymyksenä tarkasteltiin ohjus- ja hybridi-ilmatorjuntajärjestelmien kehitystä nyt ja mentäessä 2030-luvulle. Keskeisenä havaintona nykyisistä teknologioista on se, että ohjus- ja tykkijärjestelmät tulevat säilymään mutta niiden käyttö tulee perustumaan sensoreilta saatavaan tietoon. Lisäksi keskeiseen asemaan nousee jo olemassa olevien järjestelmien kehittäminen vastaamaan tulevaisuuden taistelukentän uhkakuvia ja tehtäviä.

Tutkimuksen keskeinen havainto on se, että vuonna 2030 käytössä oleva teknologia on jo nyt kehittynyt ja kehittymässä. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että järjestelmien kehittäminen laajaan operatiiviseen käyttöön kestää 20-30 vuotta. Tällä perusteella nyt kehitysasteella olevat järjestelmät olisivat käytössä tarkastelujakson loppupuolella.

Tutkimuksen kolmas ja neljäs alakysymys käsittelivät nykyisten teknologioiden säilymistä tulevaisuuden järjestelmissä sekä uusien teknologioiden käyttämistä lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmissä. Ohjusjärjestelmien kehittäminen on tämän tutkimuksen perusteella keskeinen kehityssuunta kehitettäessä lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmiä 2030-luvulle.

Niiden rinnalla on nähtävissä uusiin teknologioihin perustuvien ilmatorjuntajärjestelmien kehityksen nouseminen yhä merkittävämpään asemaan. Keskeisimpänä uutena kehityssuuntana on nähtävissä laserteknologiaa hyödyntävien ilmatorjuntajärjestelmien kehittäminen seuraavan kahdenkymmenen vuoden aikana niin pitkälle, että niitä kyetään käyttämään operatiivisissa tehtävissä. Tutkimuksen perusteella keskeiseen asemaan tulee nousemaan tarve liittää asejärjestelmä osaksi ilmatorjuntajärjestelmää. Tämä tulee edellyttämään liikkuvia lavetteja, joihin voidaan integroida tarvittavat sensorit.

Tutkimuksen keskeisenä tutkimuskysymyksenä oli se, mitä teknologioita olisi käytettävissä 2030-luvun lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmissä. Tutkimuksen perusteella teknologiset ratkaisut tulevat perustumaan ohjus-, tykki- ja laserteknologiaa hyödyntäviin järjestelmiin. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikkia nykyisin käytössä olevia teknologioita tullaan kehittämään. 2030-luvun lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmät tulevat tämän tutkimuksen perusteella liittymään osaksi ilmatorjuntajärjestelmää. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki järjestelmät on oltava johdettavissa ja maalit on kyettävä tunnistamaan. Niitä tullaan käyttämään osana kohteen suojaamisen kokonaisuutta ja niillä tullaan vastaamaan lähisuojauksesta. Keskeiseen asemaan tulee nousemaan kyky torjua pieniä maaleja. Järjestelmissä tullaan käyttämään yhä pienempiä komponentteja. Tämä tulee mahdollistamaan erilaisten tekniikoiden käyttämisen esimerkiksi ohjusjärjestelmien ohjautuksessa.

Lasertekniikkaa hyödyntävät järjestelmät tulevat kehittymään tarkastelujakson aikana siten, että niiden käyttö 2030-luvulta alkaen olisi mahdollista lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmissä. Tämän tulee mahdollistamaan se, että laserjärjestelmien kokoa saadaan pienennettyä ja niiden liikkuvuus saadaan vastaamaan suojattavaa kohdetta. Toinen keskeinen kehitysvaatus on se, että laserjärjestelmien vaatima energian tuottaminen ja siihen liittyvät haasteet saadaan ratkaistua.

5. YHDISTELMÄ

Ilmatorjuntajärjestelmillä pyritään vastaamaan ilmasta kohdistuvaan uhkaan. 2030-luvun lentokone noudattaa edelleen fysiikan lakeja, painovoima on edelleen keskeinen määrittäessä lentokoneiden suoritusarvoja. Ilmatorjuntajärjestelmissä sen sijaan on tämän tutkimuksen perusteella nähtävissä uuden teknologian esiinmarssi 2030-luvulle tultaessa. Laserteknologiaan perustuvat järjestelmät ovat nousemassa uudeksi mahdollisuudeksi suojata kohteita lähitulevaisuudessa. Uusi teknologia antaa toteutuessaan kustannustehokkaan vaihtoehdon pienien ja halpojen maalien torjuntaan. Tämä tulee edellyttämään yhä parempien sensoreiden käyttämistä osana asejärjestelmää.

Nyt tehty tutkimus on ensimmäinen Maanpuolustuskorkeakoululla laadittu tutkimus, joka tarkastelee 2030-luvun ilmatorjuntaa. Tämän tutkimuksen perusteella jatkossa tulisi tutkia ilmatorjuntajärjestelmiin liitettäviä sensoreita, koska tulvaisuuden lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmillä tulee olemaan tarve torjua pieniä maaleja, joita ei kyetä paikantamaan ilmaan sensoritietoa. Tämä tutkimus nostaa laserteknologian uudeksi ja nousevaksi tekijäksi. Tulevina vuosina tulee tutkia myös muista uusista teknologioista hyödyntäviä järjestelmiä. Yhtenä jatkotutkimuksen aiheena voidaan pitää myös korkean energian aseita (high energy weapon).

Tutkimuksen luotettavuus on pyritty varmistamaan käyttämällä yleisesti luotettuja lähteitä. Tiedot on pyritty varmistamaan useammasta alkuperäisestä lähteestä. Tutkimustulosten rajoitteena on nähtävä se, että tulevaisuuden trendit on määritetty käyttäen vain Jane's-tietokantaa, joka edustaa länsimaista näkemystä. Huolimatta edellä mainituista rajoitteista tutkimusta voidaan pitää tuloksiltaan luotettavana.

LÄHTEET

- [1] Airforce-technology. *Thales unveils RAPIDFire air defence system*. [viitattu 7.1.2013]
Saataavissa: <http://www.airforce-technology.com/news/newsthales-rapidfire>
- [2] Army Technology: *Lockheed's anti-munition system demonstrates target engagement capabilities* [viitattu 24.1.2013] Saataavissa: <http://www.army-technology.com/news/newslockheeds-anti-munition-system-demonstrates-target-engagement-capabilities>
- [3] Army-technology. *Starstreak Anti-Aircraft Guided Missile System, United Kingdom*. [viitattu 7.1.2013] Saataavissa: <http://www.army-technology.com/projects/starstreak/>
- [4] Aselsan. *Missile-IGLA Launching System* [viitattu 8.1.2013] Saataavissa: <http://www.aselsan.com/content.aspx?mid=375&oid=488>
- [5] Boeing. *Avenger Derivatives: Adaptive Force Protection Solutions*. [viitattu 7.1.2013]
Saataavissa: http://www.boeing.com/defense-space/space/avenger/docs/Avenger_overview.pdf.
- [6] Brown, N & Foss, C. *Flak attack: air defences gun for the unmanned threat*. International Defence Review, 2012. Posted 9.8.2012 [viitattu 7.1.2013] Saataavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1516413&Pubabbrev=IDR>
- [7] Brown, N. *Off the wall: new solutions help strengthen base defences*. International Defence Review, 2011. Posted 10.8.2011 [viitattu 22.1.2013] Saataavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1108173&Pubabbrev=IDR>
- [8] CTA-international. [viitattu 7.1.2013] Saataavissa: <http://www.cta-international.com/en/cased-telescoped-armament-system-ctas/comparison-with-other-calibres>
- [9] de Larrinaga, N. *Rheinmetall tests 50 kW laser weapon system*. Jane's Defence Weekly, 2012. Posted 19.12.2012 [viitattu 22.1.2013] Saataavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1534655&Pubabbrev=JDW>
- [10] Defense Update. *RAPIDFire – An Air Defense Application for the Cased Telescoped Cannon*. [viitattu 7.1.2013] Saataavissa: http://defense-update.com/20120611_thales-rapidfire.html

- [11] Defense Update: *Lockheed Martin Demonstrates High-Energy Laser C-RAM Application* [viitattu 24.1.2013] Saatavissa: http://defense-update.com/20130107_lockheed-martin-demonstrates-high-energy-laser-c-ram-application.html
- [12] Foss, C. *Close support*. Jane's Defence Weekly, 2001. Posted 28.11.2001 [viitattu 8.1.2013] Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1161865&Pubabbrev=JDW>
- [13] Foss, C. *Rheinmetall successfully test high-energy laser*. Jane's International Defence Review, 2013. Posted 8.1.2013 [viitattu 22.1.2013] Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1536621&Pubabbrev=IDR>
- [14] Gyürösi, M. *KB Tochmash finalises Sosna-R configuration*. Jane's Missiles & Rockets, 2011. Posted 2.4.2011 [viitattu 9.1.2013] Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1201224&Pubabbrev=JMR>
- [15] Hagen, H C, Vice President Business Development, Integrated Defence Systems, Kongsberg Defence & Aerospace AS. Haastattelu, tulevaisuuden lyhyen kantaman ilmatorjuntajärjestelmissä käytettävistä teknologioista, 21.1.2013. Haastattelumateriaali tutkijalla.
- [16] Haka, N. *Alussijoitteiset ilmatorjuntajärjestelmät nyt ja tulevaisuudessa*. Sotatieteiden kandidaatin tutkielma. Helsinki 2010. Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos. 31 s.
- [17] Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. *Tutki ja kirjoita*. 13. osin uudistettu painos. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki 2007. ISBN-10: 951-26-5635-3.
- [18] Hutchings, P & Street, N. *Future Short Range Ground-based Air Defence: System Drivers, Characteristics and Architectures* [viitattu 8.1.2013] Saatavissa: <http://ftp.rta.nato.int/public//PubFulltext/RTO/MP/RTO-MP-063///MP-063-06.pdf>
- [19] Ilmatorjuntaopas 1. Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus. Vammalan kirjapaino, Vammala 2002. Turvaluokiteltu TLL IV, VIRANOMAISKÄYTTÖ, JulkL(612/1999) 24.1 §:n 10 k.
- [20] Jane's tietokannasta. *Ammunition*. Jane's Ammunition Handbook. Posted 27.11.2012 [viitattu 7.1.2013] Saatavissa: https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1333710&Pubabbrev=JAH_

- [21] Jane's tietokannasta. *Avenger AN/TWQ-1*. Land Warfare Platforms: Artillery & Air Defence, Posted 5.12.2012 [viitattu 8.1.2013] Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1494593>
- [22] Jane's tietokannasta. *Cruise Missile Defence*. Jane's Strategic Weapon Systems, Posted 3.10.2011 [viitattu 8.1.2013] Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1316925&Pubabbrev=JSWS>
- [23] Jane's tietokannasta. *Defending the stockade: C-RAM solutions come forward to reinforce the ramparts*. International Defence Review, 2007. Posted 7.6.2007 [viitattu 24.1.2013] Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1098008&Pubabbrev=IDR>
- [24] Jane's tietokannasta. *Laser Avenger*. Jane's Land-Based Air Defence, 2012. Posted 3.1.2012 [viitattu 22.1.2013] Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1363727&Pubabbrev=JLAD>
- [25] Jane's tietokannasta. *Mistral 2* [viitattu 8.1.2013] Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1501666>
- [26] Jane's tietokannasta. *Rafael/Thales pitch Defender air-defence system to markets after successful tests*. International Defence Review, 2006. Posted 11.4.2006 [viitattu 8.1.2013] Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1097545&Pubabbrev=IDR>
- [27] Jane's tietokannasta. *SOSNA*. Jane's Land-Based Air Defence, 2012. Posted 6.8.2012 [viitattu 9.1.2013] Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1363289&Pubabbrev=JLAD>
- [28] Jane's tietokannasta. *SOSNA-R/9M337*. Jane's Land-Based Air Defence, 2012. Posted 6.8.2012 [viitattu 9.1.2013] Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1363555&Pubabbrev=JLAD>

- [29] Jane's tietokannasta. *Stinger Weapon System Programme (SWP)*. Land Warfare Platforms: Artillery & Air Defence, 2012. Posted 17.12.2012 [viitattu 8.1.2013] Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1494712>
- [30] Kaukoranta, T., Hautala, J. & Kakkola, T. *Taisteluvälineet 2020*. Maanpuolustuskorkeakoulun Tekniikan laitoksen Julkaisusarja 1, n:o 10/2002. Edita Oyj, Helsinki 2002. ISBN 951-25-1324-2.
- [31] Keski-Rauska, A. *Lyhyen kantaman ilmatorjuntaohjus- ja tykkijärjestelmien kehitysnäkymät lähitulevaisuudessa*. Esiupseerikurssin tutkielma. Helsinki, 2009. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 55 s.
- [32] Korhonen, J. & Korhonen, M. *Ilmatorjuntajärjestelmien kehityssuunnat*. Maanpuolustuskorkeakoulun tekniikan laitos, Tekniikan asiantuntemia, Julkaisusarja 3, Työpapereita N:o 1/1999, ISBN 95125-1112-6
- [33] Korotkov, O., Ukleev, V & Kopylov, V. *SOSNA Air Defense Missile/Gun System*. Military Parade, Numero 6(108)/2011. ISSN 1029-466X.
- [34] Kosola, J. & Solanne, T. *Digitaalinen taistelukenttä*. Maanpuolustuskorkeakoulun Tekniikan laitoksen Julkaisusarja 5, N:o 2. Edita Prima Oy, Helsinki 2004. ISBN 951-25-1554-7
- [35] Kosola, J. *Maasodankäynti vuonna 2020*. Pääesikunnan teknisen kehittämisosaston julkaisu 28.04.2000. Kommentoitu käännös NATO Rerearch and Technology Organization Technical Report 8 teoksesta Land Operations in the Year 2020.
- [36] Kosola, J. *Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin 2015-2025*. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. Edita Prima Oy. Helsinki 2011. ISBN 978-951-25-2165-4
- [37] Lappalainen, E & Jormakka, J. *Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa*. Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos. Edita Prima Oy. Helsinki 2004. ISBN 951-25-1540-7.
- [38] Lockheed Martin. *Area Defense Anti-Munitions (ADAM)* [viitattu 24.1.2013] Saatavissa: <http://www.lockheedmartin.com/us/products/ADAM.html>
- [39] Lockheed Martin: *Lockheed Martin Demonstrates New Ground-Based Laser System in Tests Against Rockets and Unmanned Aerial System* [viitattu 24.1.2013] Saatavissa:

<http://www.lockheedmartin.com/us/news/press-releases/2012/november/1127-ss-adam.html>

- [40] McAulay, A. *Military laser technology for defense - Technology for revolutionizing 21st century warfare*. New Jersey, Yhdysvallat: John Wiley & Sons, Inc, 2011. 305 s. ISBN978-0-470-25560-5.
- [41] Nitschke, S. *VSHORAD New Systems for New Threats*. Military Technology, MIL-TEC numero 9/2012. ISSN 0722-3226.
- [42] Pasivirta, P. *Teknisen kehityksen suuntalinjat (Käännös FMV:n alkuperäistekstistä Tekniska Utvecklingstrender)*. Maanpuolustuskorkeakoulun Tekniikan laitoksen Julkaisusarja 4, n:o 1. Edita Oyj, Helsinki 2002. ISBN 951-25-1338-2
- [43] Puolustusministeriö. *Puolustusministeriön strateginen suunnitelma*. ISBN: 978-951-25-2224-8 pdf [viitattu 10.1.2013] Saatavissa:
http://www.defmin.fi/files/1830/plm_strateginen_suunnitelma.pdf
- [44] PVAH. *Eurosatory 2008, matkakertomus*. Saatavissa: PVAH kansiot.
- [45] STAE 2025, osa 1. Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos Julkaisuja 14. Edita Prima Oy, Helsinki 2008. ISBN 978-951-25-1888-6.
- [46] STAE 2025, osa 2. Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos Julkaisuja 15. Edita Prima Oy, Helsinki 2008. ISBN 978-951-25-1890-6.
- [47] Stepanichev, I. & Slugin, V. *Pantsir-S1 Air-Defence Missile Gun System*. Military Parade, Numero 6(108)/2011. ISSN 1029-466X.
- [48] Thales. *CONTROLMaster 60, Highly mobile solution for Surveillance & Coordination* [viitattu 7.1.2013] Saatavissa:
<http://www.thalesgroup.com/Markets/Defence/Documents/CONTROLMaster60/>
- [49] Thales. *RAPIDFire Highly Mobile Multi-Weapon Air Defence System for mechanized brigade protection* [viitattu 7.1.2013] Saatavissa:
<http://www.thalesgroup.com/Markets/Defence/Documents/RAPIDFire/>
- [50] Thales. *Thales launches RAPIDFire, its new mobile air defence gun system*. [viitattu 7.1.2013] Saatavissa:
http://www.thalesgroup.com/Press_Releases/Markets/Defence/2012/Documents/RAPIDFire_eng_11062012/
- [51] Wihersaari, K. *Häivetekniikka tulevaisuuden ilmasodankäynnissä*. Sotatieteiden kandidaatin tutkielma. Helsinki 2009. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 73 s.

- [52] Wikipedia. *Starstreak (missile)* [viitattu 7.1.2013] Saatavissa:
[http://en.wikipedia.org/wiki/Starstreak_\(missile\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Starstreak_(missile))

LIITTEET

LIITE 1: Tutkielmassa käytettävät lyhenteet

LIITE 2: Kehitystrendien arvioinnissa käytetty menetelmä

TUTKIELMASSA KÄYTETTÄVÄT LYHENTEET

C-RAM	Counter-Rocket Artillery Mortar
THEL	Tactical High Energy Laser
SHORAD	Short Range Air Defense
VSHORAD	Very Short Range Air Defense
HPM	High Power Microwave
NLOS	Non Line of Sight
CLOS	Command Line of Sight
IFF	Identification Friend or Foe
AA-AB	Anti-Aerial Air Burst
APFSDS	Armour Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot
GPR-AB	General Purpose Round – Air Burst
TASM	Tactical Air to Surface Missile, rynnäköohjus
ADAM	Area Defense Anti-Munitions
HPLW	High Power Laser Weapon
kW	Kilowatti, 1000 W
BFU	Beam Forming Unit
HMG	Heavy Machine Gun
COIL	Chemigal Oxygen-iodine Laser
FEL	Free Electron Laser

KEHITYSTRENDIEN ARVIOINNISSA KÄYTETTY MENETELMÄ**1. HAKUKRITEERIT**

Tulevaisuuden kehitystrendien määrittämisessä on käytetty seuraavia hakukriteerejä

TIETOKANTA

- Jane's Defence Weekly
- Jane's Land Based Air Defence

AIKAVÄLI

- 1.1.2011-31.12.2012

HAKUTERMIT

- "air defence" and future

LISÄMÄÄRITELMÄT (Defence Equipment)

- Weapons and ordnance
- Land Vehicles
- Homeland security equipment
- Land vehicle logistics, tools and updates
- Propulsion systems

2. HAKUTULOKSET

Haku antoi 211 tulosta, joista 40 artikkelia käsitteli tutkimuksen rajauksen mukaisia järjestelmiä. Jakauma oli oheisen taulukon mukainen.

Tykkijärjestelmä	Ohjusjärjestelmä	Hybridijärjestelmä	Laserjärjestelmä
10	20	5	5